

森林・樹木における放射性セシウムの動態 (I) ー福島原発事故後 10 ヶ月間の宇都宮大学船生演習林における記録ー

Behavior of Radiocaesium in Forest and Trees (I) - Record on Utsunomiya University Forests at Funyu in 10 months after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident -

飯塚 和也¹, 篠田 俊信¹, 関 菜穂子¹, 牧野 和子¹, 逢沢 峰昭¹,
大久保 達弘¹, 石栗 太¹, 横田 信三¹, 吉澤 伸夫¹
Kazuya IIZUKA¹, Toshinobu SHINODA¹, Nahoko SEKI¹, Kazuko MAKINO¹, Mineaki AIZAWA¹,
Tatsuhiko OHKUBO¹, Futoshi ISHIGURI¹, Shinso YOKOTA¹, Nobuo YOSHIZAWA¹

¹ 宇都宮大学農学部 〒 321-8505

¹ Faculty of Agriculture, Utsunomiya University 321-8505, Japan

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震が2011年3月11日に発生し、それに起因して翌日3月12日と14日に東京電力福島第一原子力発電所（福島県大熊町と双葉町にまたがる臨海地域に設置）で水素爆発事故が起きた。その結果、原子炉施設から飛散した人工放射線核種が、当時の風向、風速や降雨などの気象条件により広い地域にわたり拡散し、大気圏や海洋域をはじめ、陸域生態系にも多大な影響を与えた。福島県の南西部に隣接する栃木県では県全域において、3月15日に放射性降下物による空間線量率の上昇が観察された¹⁾。

本報告は、福島原発から南西方向に約140km離れた栃木県北部の塩谷町にある宇都宮大学農学部附属船生演習林において、福島原発事故後10ヶ月間、主に2011年10月～2011年12月に伐採された樹木を対象として、測定した放射性セシウムの比放射能（放射性セシウム濃度）の暫定値を整理したものである^{2,3,4)}。なお、調査地である船生演習林の空間線量率は概ね0.2～0.3 μ Sv/hであった¹⁾。

2. 材料と方法

材料は、宇都宮大学農学部附属船生演習林で育成し、主伐及び間伐された針葉樹造林樹種であるスギ、ヒノキ、サワラ及び二次林のコナラである。コナラについては、栃木県東部に位置する那須烏山市からも入手した（空間線量率0.1 μ Sv/h）。採取した樹木に関して、放射性セシウム濃度（以下「比放射能」という。）の暫定値を測定した。表1に供試した材料、4樹種81個体に関する概要を示した。

供試材料は、林縁木を除き伐採された樹木から採取された厚さ5cmの円板の上下2面を鋸断し厚さ3cmに加工し、剥皮された。林齢40年以上の個体及びコナラは心・辺材別に区分し、髄を中心として半径方向に帯状の試験体、接線方向に2cmの試料を作製した。林齢25年以下のものは、髄を中心に30度の扇形試験

表1 調査した材料の概要

樹種	林齢	測定部位等		演習林等の所在地		備考
		個体数	(m)	船生事業区	伐採時期	
ヒノキ	18	10	1.2	6林班ろ1小班	10月中旬	
	25	10	1.2	3林班を2小班	11月下旬	
	42	10	1.2	5林班ぬ小班	12月上旬	
		4	樹高別	5林班ぬ小班	12月上旬	
	61	7	0.4	2林班わ小班	12月中旬	A
	62	15	2.4	3林班へ小班	11月上旬	
スギ		2	樹高別	3林班へ小班	10月下旬	B
	61	6	0.4	2林班わ小班	12月中旬	A
	62	2	樹高別	3林班へ小班	10月下旬	B
サワラ	61	5	0.4	2林班わ小班	12月中旬	A
コナラ	二次林	5	0.3, 5.6	6林班を小班	12月上旬	
	二次林	5	0.3	那須烏山市	12月中旬	

1. 備考のA, Bの区分は、異樹種、共通小班を示す。

2. 那須烏山市の調査地の空間線量率は、0.1 μ Sv/h。

体を作製後、心・辺材に区分し各1個の試料とした。

針葉樹とコナラの木部は、全乾法により心・辺材別に生材含水率を測定した。また、樹皮、葉及び土壌表層についても比放射能の測定を行なった。木部試料はマッチ軸状に調製し、その他の試料は細かく裁断あるいは粉碎し、乾燥状態で試料用容器に充填した。

全ての試料は宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター RI 施設について、比放射能を測定した。測定器には、NaI (TI) ウェル型シンチレーション検知器である、オートウェルガンマカウンタ (AccuFLEX γ 7001, 日立アロカメディカル株式会社) を使用した。測定条件は10分間3回、標準計数率40%（土壌は25%）に設定し、試料容器に20mLバイアルを使用し、全放射性セシウム（セシウム134と137）と推定される γ 線の比放射能 (Bq/kgDW) の暫定値を求めた。バックグラウンドは27cpm、検出限界 (ND) は35Bq/kgとした。

3. 結果と考察

3.1 ヒノキの比放射能

調査対象としたヒノキの概要は表1に示したとおり、林齢18年から62年の5林分（林小班）の計58

個体である。まずは、表2に4林分の45個体の測定結果を示した。測定部位は、林齢62年は地上高2.4m部位であるが、それ以外の3林分は地上高1.2m部位である。

表2 ヒノキ4林分における測定結果

林 齢	心・辺材別	MC (%)	個体数	放射能濃度(Bq/kgDW)			
				計	ND	36-70	71-99 100-
18	HW	40	10	7	3	0	0
<550>	SW	168	10	3	7	0	0
25	HW	36	10	8	2	0	0
<460>	SW	181	10	3	5	2	0
42	HW	34	10	10	0	0	0
<250>	SW	167	10	8	2	0	0
62	HW	34	15	9	4	2	0
<140>	SW	124	15	6	7	2	0
合計	HW	36	45	34	9	2	0
	SW	160	45	20	21	4	0

1. < >の値は、樹皮の放射性セシウム濃度の平均値。
2. MC:生材含水率, HW:心材, SW:辺材。
3. ND:検出限界以下。

樹皮の比放射能は、林齢が高いほど低い傾向を示し、林齢18年、25年、42年、62年において、各林分の平均値はそれぞれ550,460,250,140 Bq/kgDWを示した。森林、特に常緑性の針葉樹の林冠は、一般的に放射性降下物の捕捉能が高いことが知られている⁵⁾。放射性降下物の被害を受けた調査林分は、間伐前及び主伐直前の森林であった。フォールアウト後8～10ヶ月を経た測定時において、樹皮に付着・沈着している放射性物質は林内雨や樹幹流の影響もあると推察されるが、林齢の高い林分は若い林分と比べて、林冠の閉鎖程度が高く、放射性降下物に対する樹冠の捕捉能が高いため、その結果として、樹皮に付着・沈着していた比放射能が低かったことが、推察される。

生材含水率は、全ての林分の平均値で見ると、心材が34～40%、辺材が124～181%の範囲を示した。異なる林齢の林分であるがヒノキの生材含水率は、ほぼ同じ傾向があると考えられる。

比放射能を見みると、検出限界の35 Bq/kgDW以下の個体は、全ての林分に確認され、心材で76%の34個体、辺材で44%の20個体であった。また、全ての個体の心・辺材の合計90部位において、100 Bq/kgDW未満の値を示した。このことから、比放射能には、林分間に大きな差異が存在していないことが推察される。

つぎに、樹高別に測定した林齢42年の4個体の平均値を表3に示した。胸高直径の平均値は18.5m、樹高は17mであった。樹皮の比放射能を見ると、地上高が高くなると値が高くなる傾向があり、林齢42年は地上高0.2～11.2mの7部位において、210～360 Bq/kgDWの範囲を示した。比放射能については、心材は全ての個体と地上高で検出限界以下であった。辺材については、最も高い個体の部位で51 Bq/kgDWであった。また、地上高別の比放射能には、一定の傾向は見られなかった。

以上のことから、ヒノキの比放射能は、樹皮については、林齢が若く、地上高が高いほど、高い値を示す傾向があることが推察された。また、木部では、放射能が未検出の部位が多く観察されたが、心材は辺材よ

りも多くの部位で検出される傾向にあった。しかしながら、全ての部位で100 Bq/kgDW未満の値であった。

表3 林齢42年のヒノキ4個体における樹高別の測定結果

地上高	項 目	Avg.	心辺材区分	Bq/kgDW			
				Avg.	Avg.	Min.	Max.
0.2	D(cm)	21.1	HW	34	ND	ND	ND
<250>	PHW(%)	71	SW	165	ND	ND	36
1.2	D(cm)	18.5	HW	35	ND	ND	ND
<200>	PHW(%)	68	SW	173	ND	ND	ND
3.2	D(cm)	16.9	HW	34	ND	ND	ND
<240>	PHW(%)	68	SW	173	ND	ND	51
5.2	D(cm)	15.6	HW	33	ND	ND	ND
<210>	PHW(%)	65	SW	167	ND	ND	37
7.2	D(cm)	13.8	HW	33	ND	ND	ND
<250>	PHW(%)	60	SW	158	ND	ND	43
9.2	D(cm)	12.8	HW	33	ND	ND	ND
<350>	PHW(%)	52	SW	161	ND	ND	42
11.2	D(cm)	10.9	HW	33	ND	ND	ND
<360>	PHW(%)	46	SW	129	ND	ND	39

1. < >:樹皮の放射性セシウム濃度(Bq/kgDW)の平均値。
2. D:直径, PHW:心材率, Mc:生材含水率。
3. Avg.:平均値, Min.:最小値, Max.:最大値, その他の略号は表2を参照。

3.2 同一林分のヒノキとスギの樹高・個体別の比放射能

同一林分に植栽され林齢62年のヒノキとスギについて、ランダムに選木した各2個体の測定結果を、それぞれ表4及び表5に示した。

表4 林齢62年のヒノキ2個体における樹高・個体別の測定結果

個 体	地上高 (m)	直径 (cm)	心材率 (%)	Mc (%)		Bq/kgDW		
				HW	SW	樹皮	HW	SW
ヒノキNo.1	0.2	34	88	29	74	310	ND	ND
H:22m	4.4	24	89	29	105	270	ND	ND
D:26cm	8.6	22	90	30	156	259	ND	ND
	12.0	20	81	27	136	283	ND	41
	15.2	13	57	27	165	576	ND	ND
ヒノキNo.2	0.2	35	84	34	156	143	ND	78
H:23m	4.4	25	81	31	150	211	ND	ND
D:27cm	8.6	23	79	31	162	164	ND	55
	12.0	20	81	30	141	195	ND	58
	15.2	16	69	33	145	261	ND	53
	18.4	6	50	31	107	421	ND	41
	21.6	5	10		95	286		43

1. H:樹高, D:胸高直径, その他の略号は表3を参照。

表5 林齢62年のスギ2個体における樹高・個体別の測定結果

個 体	地上高 (m)	直径 (cm)	心材率 (%)	Mc (%)		Bq/kgDW		
				HW	SW	樹皮	HW	SW
スギNo.1	0.2	48	71	132	105	567	50	58
H:24m	4.4	34	68	118	135	200	ND	63
D:46cm	8.6	29	65	101	135	245	ND	36
	12.0	25	61	98	124	340	ND	96
	15.2	17	44	140	296	536	ND	51
スギNo.2	0.2	34	74	130	123	99	ND	41
H:22m	4.4	23	70	83	132	107	ND	ND
D:32cm	8.6	20	68	100	105	94	ND	38
	12.0	18	59	66	149	224	ND	ND
	15.2	12	45	105	108	290	42	45

1. 略号は表3と4を参照。

両樹種に共通して、地上高が高くなるに伴い比放射能が高くなる傾向が見られ、表3で示した林齢42年のヒノキと同様な傾向を示し、測定部位の多くは、200～500 Bq/kgDWの範囲であった。一方、木部における心・辺材の全ての部位において、100 Bq/kgDW未満の値を示した。また、心材はほとんどの部位で検出限界であった。辺材は、ヒノキNo.2はNo.1に比べ、スギNo1はNo.2に比べ、放射能を検出した部位が多

く観測された。このことは、同一林分内においても、立地条件の差異によるかどうか原因は不明であるが、個体により樹体に対する放射能汚染は異なることが示唆された。また、地上高別の放射能検出部位には、一定の傾向が見られなかった。そして、樹種特性により心材含水率には大きな差異が存在するが、比放射能には樹種による顕著な相違は見られなかった。

以上のことから、同一林分に生育したヒノキとスギの木部の比放射能について、心・辺材及び個体間には差異が見られたが、樹種間及び地上高別には大きな差異はなく、また、一定な傾向は確認できなかった。

3.3 同一林分のヒノキ、スギ及びサワラの比放射能

斜面下部のほぼ平坦地に植栽された同一林分の林齢 61 年のヒノキ、スギおよびサワラの地上 0.4m 部位の生材含水率と比放射能の測定結果を、表 6 に示した。平均直径と心材率については、それぞれヒノキで 32cm と 83%、スギで 43cm と 69%、サワラで 35cm と 86% であった。生材含水率について、心材の平均値の高い樹種から見ると、スギ、サワラ、ヒノキ、辺材では、サワラ、スギ、ヒノキの順であった。辺材含水率について、辺材部ではほぼ飽和水状態であり、一般的に容積密度との間に負の高い相関があることが知られている^{6,7)}。このため、辺材では生材含水率の高い樹種の順は、容積密度の低い順に対応すると推察される。

表6 同一林分に植栽された3樹種の測定結果

項 目	樹 種	n	心 材			辺 材		
			Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.
MC (%)	ヒノキ	7	38	33	44	170	126	195
	スギ	6	155	70	219	210	177	244
	サワラ	5	63	47	76	230	201	259
Bq/kgDW	ヒノキ	7	ND	ND	41	58	40	82
	スギ	6	38	ND	49	55	40	82
	サワラ	5	41	36	43	71	52	91

1. n : 個体数, その他の略号は表3を参照。

比放射能を見ると、樹種ごとの個体の最大値は、100 Bq/kgDW 未満であった。心材は、平均値はヒノキが 35 Bq/kgDW 以下 (ND)、スギとサワラも 40 Bq/kgDW 前後の値を示した。樹種ごとの個体の最大値の範囲は 41 ~ 49 Bq/kgDW であった。一方、辺材は、全ての樹種の平均値の範囲は 55 ~ 71 Bq/kgDW であった。比放射能を要因とした一元配置の分散分析の結果、樹種間に有意差は認められなかった。樹種ごとの個体の最大値の範囲は、82 ~ 91 Bq/kgDW であり、心材よりも 40 Bq/kgDW 程度高い値を示した。

以上のことから、比放射能は 3 樹種間に差異が見られないことから、生材含水率の依存程度が小さいことが考えられる。また、樹種間の直径成長や容積密度の差異にも影響されないことが推察される。

3.4 二次林のコナラの比放射能

シイタケ原木生産のための薪炭林である二次林から採取された演習林産のコナラの 5 個体の測定結果を表 7 に示した。地上高 0.3m と 5.6m 部位の平均直径はそれぞれ 30cm と 19cm、心材率は 67% と 65% であった。

生材含水率は、個体ごとの心・辺材及び地上高別において、大きな差異は見られず、その範囲は 68 ~ 86% であった。樹皮の放射能濃度は平均値では、地上高 0.3m で 669 Bq/kgDW を示し、5.6m の 477 Bq/kgDW よりも高い値を示した。福島原発事故発生時の 3 月当時では落葉広葉樹であるコナラは着葉がなく、放射性降下物は常緑針葉樹と異なり林冠部での捕捉がより少なく、樹幹樹皮では下部の方が上部よりも直径が大きくなるため、放射性セシウムが付着した可能性が高いことが推察される。木部の比放射能は、0.3m と 5.6m 部位ではほぼ同様な値を示した。また、両地上高ともに心材において検出限界以下の個体が存在し、最も高い濃度を示した個体の部位で 86 Bq/kgDW であった。

つぎに、那須烏山市の調査地(空間線量率 0.1 μ Sv/h)におけるコナラ 5 個体の測定結果を表 8 に示した。地上高 0.3m 部位の直径が平均 33cm、心材率が 65% であった。樹皮の比放射能は平均値で 150 Bq/kgDW であった。一方、木部については、辺材で検出限界以下の個体も存在したが、最も高い値を示した個体の部位で 71 Bq/kgDW であった。樹皮の比放射能が、演習林と比べてかなり低い濃度を示したが、木部では差異が少ないことが推察された。

表7 コナラ5個体の測定結果

項 目	地上高 (m)	樹 皮			木 部			
		Avg.	Min.	Max.	心 材		辺 材	
MC (%)	0.3	—	—	—	76	84	68	80
	5.6	—	—	—	70	79	62	86
Bq/kgDW	0.3	669	410	936	ND	44	55	78
	5.6	477	324	619	ND	86	47	84

1. 略号は表3を参照。

表8 那須烏山市のコナラ5個体の測定結果

項 目	地上高 (m)	樹 皮			木 部			
		Avg.	Min.	Max.	心 材		辺 材	
Bq/kgDW	0.3	150	87	309	40	71	ND	48

1. 略号は表3を参照。

以上のことから、演習林産のコナラにおいては、木部の比放射能は 100 Bq/kgDW 未満を得たが、樹皮では放射性降下物によるセシウムの付着・沈着のため、平均値で 570 Bq/kgDW と比較的高い値が検出された。

3.5 葉及び土壌の比放射能

2011 年 10 ~ 12 月に測定した、ヒノキ、スギ、コナラにおける林冠を構成する葉及びヒノキ林の土壌表層(地表から深さ 5cm)の結果を表 9 に示した。

林冠を構成する葉は、樹種ごとに複数林分について調査した。常緑性のヒノキとスギでは、平均値で 3 ~

表9 葉及び土壌表層の放射能濃度(kBq/kgDW)

事項	樹冠を構成する葉			ヒノキ林の土壌表層		
	ヒノキ	スギ	コナラ	林齢61年	62年	102年
Avg.	4.5	3.3	0.3	1.4	2.2	2.2
Max.	6.7	5.6	0.4	2.6	3.7	3.4
Min.	1.2	1.4	0.2	0.5	0.9	0.8

1. 略号は表3を参照。

4 kBq/kgDW の比放射能を示した。落葉性のコナラで

は、全て春に展開した葉であり、常緑樹の葉と異なり直接的に放射性降下物を捕捉することはないため、比放射能は1桁低い0.3 kBq/kgDWを示したことが考えられる。

つぎに、ヒノキ林の土壌表層については、樹齢の異なる林分ごとに任意の5ヶ所の表土を測定した。平均値で1.4～2.2 kBq/kgDWの比放射能を示し、調査林分ごとの平均値での差異は少ないと推察された。しかしながら、林分内でのバラツキが大きい可能性が示唆された。土壌表層の比放射能は、ヒノキの樹冠を構成する葉と比べ低い傾向にあったが、4桁と同じレベルの値を示した。

以上のことから、常緑針葉樹の森林において、樹冠を構成する葉と土壌表層では、4桁の比放射能を示した。落葉樹であるコナラの葉の比放射能は、針葉樹のそれと比べ1/10程度の値を示した。土壌表層の比放射能に林分内のバラツキが多かったことから、土壌の採取に当たり、礫や有機物等の取扱いに留意する必要がある。

4. まとめ

福島原発事故後10ヶ月間、主に7～10ヶ月後における宇都宮大学船生演習林の森林・樹木の比放射能を調査した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- ①ヒノキ、スギ、サワラおよびコナラの木部の比放射能は、測定した全ての個体の部位において、100 Bq/kgDW未満であった。
- ②ヒノキとスギについて、心材は辺材と比べ放射能検出部位が少なかった。また、地上高別において、比放射能の値には、一定の傾向が見られなかった。
- ③樹皮の比放射能は、ヒノキでは高齢林は若齢林と比べ、低い傾向があった。また、ヒノキとスギでは、地上高の高い部位が高い傾向を示したが、一方、コナラでは逆の結果が示された。
- ④針葉樹種において、生材含水率と比放射能との間には、相関が見られなかった。このため、比放射能は、木部内の水分に影響を受けにくいことが示唆された。
- ⑤比放射能は、針葉樹の樹冠を構成する葉と森林土壌表層が4桁、樹皮が3桁、そして木部が2桁の値を示した。

引用文献

- 1) 飯塚和也・篠田俊信・石栗 太・横田信三・吉澤伸夫(2012) 福島原発事故後10ヶ月間の栃木県における空間放射線量率の記録, 宇都宮大学演習林報告, 161 - 164
- 2) 飯塚和也・石栗 太・平岩季子・逢沢峰昭・大久保達弘・横田信三・吉澤伸夫(2012) 低・中空間線量地域における放射線降下物が森林バイオマス資源に及ぼす影響, 第62回日本木材学会大会要旨集
- 3) 飯塚和也・平岩季子・逢沢峰昭・大久保達弘・石栗 太・横田信三・吉澤伸夫(2012) 福島原発に伴い低空間線量地域における木本植物の放射性セシウムによる影響, 第74回日本植物学会大会要旨集
- 4) 飯塚和也・相蘇春菜・大久保達弘・逢沢峰昭・平田 慶・石栗太・横田信三・吉澤伸夫(2013) 宇都宮大学演習林における放射性降下物による樹体への影響, 第124回日本森林学会大会学術講演集(印刷中)
- 5) A.I.SHCHEGLOV (1999) Dynamics of radionuclide redistribution and pathways in forest environment: Long-term field research in different landscapes, Contaminated Forests, 23-39
- 6) 中田了五・藤澤義武・平川泰彦・山下香奈(1998) スギの生材含水率の個体内樹高方向での変化, 木材学会誌 44, 395 - 402
- 7) 飯塚和也・織部雄一郎・生方正俊(2000) トドマツ精英樹クローンの生材含水率の変異, 木材学会誌 46, 397 - 405